

WAVELENGTH MULTIPLEXED OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM AND OPTICAL TRANSMITTER TO BE USED FOR SAME

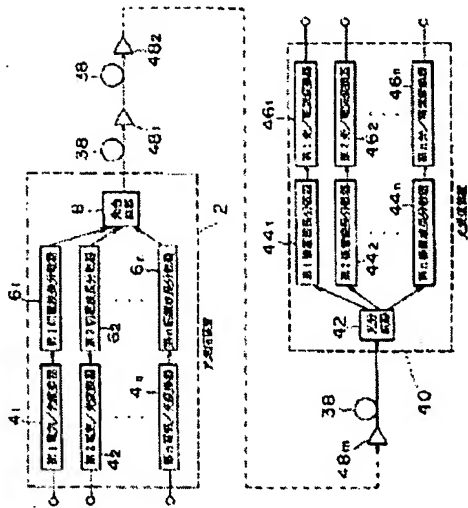
Publication number: JP9046318
Publication date: 1997-02-14
Inventor: NAITO TAKAO
Applicant: FUJITSU LTD
Classification:
- international: H04J14/00; H04B10/02; H04B10/18; H04J14/02; G02B6/34; H04J14/00; H04B10/02; H04B10/18; H04J14/02; G02B6/34; (IPC1-7): H04J14/00; H04B10/02; H04B10/18; H04J14/02
- European: H04B10/18D2
Application number: JP19950196258 19950801
Priority number(s): JP19950196258 19950801

Also published as:

- US5877879 (A1)
- GB2303984 (A)
- FR2737630 (A1)

Report a data error here

Abstract of JP9046318
PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the waveform distortion of signal light in a wavelength-multiplexed optical transmission system by improved wavelength spread compensation. SOLUTION: An optical transmitter suitable for the wavelength-multiplexed optical transmission system for transmitting plural signal light beams having respectively different wavelength through a transmission line is provided with plural electro-optical converters 41 to 4n for converting respective electric signals into plural signal beams having respectively different wavelength values, plural wavelength predistributors 61 to 6n connected to respective conversion means 41 to 4n and capable of applying a certain wavelength spread to each signal light, and an optical multiplexer 8 connected to the distributors 61 to 6n and capable of multiplexing plural signal beams. Each of the distributors 61 to 6n compensates a wavelength distribution deviation in a transmission line 38 which is generated due to a wavelength deviation between the wavelength of each signal light and specific wavelength of which wavelength spread is zero in the transmission line 38.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

9)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-46318

(43) 公開日 平成9年(1997) 2月14日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 J 14/00			H 0 4 B 9/00	E
14/02				M
H 0 4 B 10/02				
10/18				

審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願平7-196258	(71) 出願人	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(22) 出願日	平成7年(1995) 8月1日	(72) 発明者	内藤 崇男 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 松本 昂

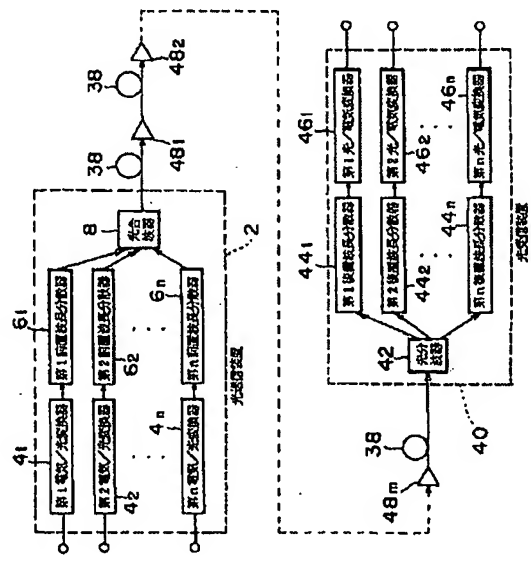
(54) 【発明の名称】 波長多重光伝送システム及び該伝送システムに用いる光送信装置

(57) 【要約】

【課題】 改善された波長分散補償を行うことにより、波長多重光伝送システムにおける信号光の波形歪みを緩和すること。

【解決手段】 伝送路を介して波長の異なる複数の信号光を伝送する波長多重光伝送システムに使用するのに適した光送信装置。光送信装置は、それぞれ電気信号を波長の異なる複数の信号光に変換する複数の電気-光変換器と、それぞれ複数の電気-光変換手段に接続され、各信号光にある波長分散を与える複数の前置波長分散器と、複数の前置波長分散器に接続され、複数の信号光を合波する光合波器とを含んでいる。各前置波長分散器は各信号光の波長と伝送路での波長分散が零となる特定波長との間の波長ずれによって発生する伝送路での波長分散ずれを補償する。

第8実施形態構成図



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 伝送路を介して波長の異なる複数の信号光を送る波長多重光伝送システムに使用する光送信装置であって、

それぞれ電気信号を波長の異なる複数の前記信号光に変換する複数の電気-光変換手段と；それぞれ前記複数の電気-光変換手段に接続され、各信号光にある波長分散を与える複数の前置波長分散手段と；前記複数の前置波長分散手段に接続され、前記複数の信号光を合波する光合波器とを具備し、前記各前置波長分散手段は各信号光の波長と前記伝送路での波長分散が零となる特定波長との間の波長ずれによって発生する前記伝送路での波長分散ずれを補償するように適合していることを特徴とする光送信装置。

【請求項 2】 前記各前置波長分散手段は光ファイバから構成され、信号光の波長が前記特定波長よりも短い場合には正の波長分散を有する光ファイバを使用し、信号光の波長が前記特定波長よりも長い場合には負の波長分散を有する光ファイバを使用する請求項 1 記載の光送信装置。

【請求項 3】 前記各光ファイバは各信号光と前記特定波長との波長ずれによって生じる伝送路の波長分散のずれ量の約 0.5 倍以上の波長分散量を有している請求項 2 記載の光送信装置。

【請求項 4】 前記正の波長分散を有する光ファイバは 1.3 μm 零分散ファイバから構成され、前記負の波長分散を有する光ファイバは 1.5 μm 分散補償ファイバから構成される請求項 2 記載の光送信装置。

【請求項 5】 伝送路を介して波長の異なる複数の信号光を送る波長多重光伝送システムに使用する光送信装置であって、それぞれ電気信号を波長の異なる複数の前記信号光に変換する複数の電気-光変換手段と；前記複数の電気-光変換手段に接続され、前記複数の信号光を合波する光合波器とを具備し；前記各電気-光変換手段は前記各信号光に強度変調をかけると同時に位相変調をかける変調手段を有していることを特徴とする光送信装置。

【請求項 6】 前記各電気-光変換手段は連続光を発振する光源と、該光源から出力される連続光を電気信号に応じて強度変調する強度変調器とから構成され；該強度変調器は強度変調をかけると同時に位相変調をかける前記変調手段を含んでいる請求項 5 記載の光送信装置。

【請求項 7】 前記各電気-光変換手段は連続光を発振する光源と、電気信号に応じて前記光源を直接変調する変調器とから構成され；前記変調器が強度変調をかけると同時に位相変調をかける前記変調手段を含んでいる請求項 5 記載の光送信装置。

【請求項 8】 前記強度変調器は一对の非対称電極を有するマッハツェンダ型光変調器から構成される請求項 6 記載の光送信装置。

【請求項 9】 前記強度変調器は一对の非対称電極と位相変調部を有するマッハツェンダ型光変調器から構成される請求項 6 記載の光送信装置。

【請求項 10】 前記位相変調での周波数シフト量は伝送速度の約 0.5 倍～約 3.0 倍である請求項 5 記載の光送信装置。

【請求項 11】 前記信号光が前記伝送路での波長分散が零となる特定波長よりも短い波長を有する場合には、正の周波数シフトを起こすように前記変調手段で位相変調をかける請求項 5 記載の光送信装置。

【請求項 12】 前記信号光が前記伝送路での波長分散が零となる特定波長よりも長い波長を有する場合には、負の周波数シフトを起こすように前記変調手段で位相変調をかける請求項 5 記載の光送信装置。

【請求項 13】 伝送路を介して波長の異なる複数の信号光を送る波長多重光伝送システムに使用する光送信装置であって、それぞれ電気信号を波長の異なる複数の前記信号光に変換する複数の電気-光変換手段と；前記複数の電気-光変換手段に接続され、前記複数の信号光を合波する光合波器とを具備し；前記各電気-光変換手段は連続光を発振する光源と、前記光源を概略伝送速度相当の周波数で変調する周波数変調器と、前記光源から出力される連続光を電気信号に応じて強度変調する強度変調器とを有していることを特徴とする光送信装置。

【請求項 14】 前記各電気-光変換手段は前記各信号光に強度変調をかけると同時に位相変調をかける変調手段を有している請求項 1 記載の光送信装置。

【請求項 15】 前記各前置波長分散手段は、各信号光と前記特定波長との波長ずれによって生じる伝送路の波長分散のずれ量の約 0.5 倍以上の波長分散量を有している請求項 1 4 記載の光送信装置。

【請求項 16】 前記各前置波長分散手段と前記光合波器との間に挿入された複数の光増幅器をさらに具備した請求項 1 記載の光送信装置。

【請求項 17】 前記各前置波長分散手段と前記光合波器との間に挿入された複数の光減衰器をさらに具備した請求項 1 記載の光送信装置。

【請求項 18】 前記各電気-光変換手段と前記各前置波長分散手段との間に挿入された複数の偏波スクランブラをさらに具備した請求項 1 記載の光送信装置。

【請求項 19】 前記各偏波スクランブラと前記光合波器との間に挿入された複数の光増幅器をさらに具備した請求項 1 8 記載の光送信装置。

【請求項 20】 波長多重光伝送システムであって、それぞれ電気信号を波長の異なる複数の信号光に変換する複数の電気-光変換手段と；それぞれ前記複数の電気-光手段に接続され、各信号光にある波長分散を与える複数の前置波長分散手段と；前記複数の前置波長分散手段に接続され、前記複数の信号光を合波する光合波器

と；一端が前記光合波器に接続された光伝送路と；前記光伝送路の他端に接続された、波長多重された前記複数の信号光を分波する光分波器と；それぞれ前記光分波器から出力される信号光が入力されるように適合しており、各信号光にある波長分散を与える複数の後置波長分散手段と；それぞれ前記後置波長分散手段から出力される信号光を電気信号に変換する複数の光-電気変換手段と；を具備したことを特徴とする波長多重光伝送システム。

【請求項21】 前記光伝送路に挿入された少なくとも一つの第1光増幅器をさらに具備した請求項20記載の波長多重光伝送システム。

【請求項22】 前記第1光増幅器は希土類ドープファイバから構成される請求項21記載の波長多重光伝送システム。

【請求項23】 前記各前置波長分散手段と前記光合波器との間に挿入された第2光増幅器をさらに具備し；前記第1及び第2光増幅器の利得の波長依存性によって発生する信号光パワーと雑音光パワーの比の劣化を抑圧するために、前記第2光増幅器で各信号光のパワーを異なる値に設定する請求項21記載の波長多重光伝送システム。

【請求項24】 前記第1及び第2光増幅器の利得 $G(\lambda)$ が $\lambda_j < \lambda_k$ の場合に $G(\lambda_j) \leq G(\lambda_k)$ を満足する波長帯域に前記信号光波長を配置する請求項23記載の波長多重光伝送システム。

【請求項25】 前記光伝送路中に挿入された、前記複数の信号光に波長分散を与える少なくとも一つのインライン波長分散補償手段をさらに具備した請求項21記載の波長多重光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は一般的に波長多重光伝送システムに関し、特に該伝送システムに用いるのに適した光送信装置に関する。

【0002】従来、数千キロメートルに及ぶ大洋を横断する長距離の光伝送システムでは光信号を電気信号に変換し、リタイミング、リシェイピング及びリジェネレーティングを行う複数の再生中継器を用いて信号光の伝送を行っていた。

【0003】しかし、現在では光増幅器の実用化が進み、光増幅器を線形中継器として用いる光増幅中継伝送方式が検討されている。再生中継器を光増幅中継器に置き換えることにより、中継器内の部品件数が大幅に削減され、信頼性が確保されるとともに大幅なコストダウンが見込まれる。

【0004】また、光伝送システムの大容量化を実現する方法の一つとして、一つの光伝送路に複数の異なる波長を有する光信号を多重して伝送する波長分割多重(WDM)光伝送方式が注目されている。

【0005】WDM光伝送方式と光増幅中継伝送方式を組み合わせたWDM光増幅中継伝送方式においては、光増幅器を用いて複数の異なる波長を有する光信号を一括して増幅することが可能であり、簡単な構成で光信号の大容量且つ長距離伝送が実現可能である。

【0006】

【従来の技術】従来の波長多重光伝送システムとして、8チャンネル、1チャンネル当たりの伝送速度5Gb/s(全容量40Gb/s)、伝送距離8000km(周回長1000km)の光増幅中継伝送実験が報告されている(OF'95, PD19, N.S. Bergalo et al., AT&T)。

【0007】8つの信号波長は、1556.0nm~1559.7nmまで0.53nm間隔で設定し、短波長側からチャンネル番号を割り当てている。伝送路には1.5μm零分散ファイバ(分散シフトファイバ、DSF)と1.3μm零分散ファイバ(高分散ファイバ、HDF)を用いている。

【0008】分散シフトファイバの分散は波長1558nmにおいて平均 -2ps/nm/km である。高分散ファイバの分散は約 20ps/nm/km と推定できる。周回ループは光伝送路と、光伝送路中に挿入された22台の光増幅中継器と信号光レベル補償用光増幅器1台とから構成される。中継間隔は45kmである。第1中継区間から第20中継区間までに分散シフトファイバを用い、第21及び第22中継区間には高分散ファイバを用いている。

【0009】信号光は、周回ループを8周した後に受信側において分散補償ファイバ(DEF)を用いて分散補償(後置補償)している。チャンネル(信号光波長)ごとに分散補償ファイバの長さを調整して分散補償している。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】上記の論文において達成した符号誤り率は 2×10^{-10} であり、殆どシステムマージンが無い。システムマージンを大きくするためには、光増幅中継器の出力光パワーを高くする方法が考えられる。しかしその場合には、伝送路の非線形効果の影響を大きく受けるために、非線形効果を十分考慮した伝送路の波長分散設計が重要になる上記論文における信号光波長が1558.0nmの場合の波長分散マップを図18に示す。図18から明らかなように、900km伝送時には、 -1800ps/nm の波長分散が発生するが、90kmの高分散ファイバを用いて殆ど 0ps/nm まで波長分散補償することができる。その後は、この繰り返しである。

【0011】第1チャンネル、即ち信号光波長が1556.0nmの波長分散マップを図19に示す。図19から明らかなように、900km伝送時には、 -1960ps/nm の波長分散が発生するが、90kmの高分散ファイバを用いて波長分散補償しても約 -160ps/nm

nmの波長分散が残る。従って、8,000km伝送時には波長分散が -1280ps/nm に達することになる。

【0012】第8チャンネル、即ち信号光波長が1559.7nmの波長分散マップを図20に示す。図20から明らかなように、8,000km伝送時には、 $+1100\text{ps/nm}$ の波長分散が残ることになる。

【0013】よって、第1チャンネルの波長分散残と第8チャンネルの波長分散残の差は、 $2,000\text{ps/nm}$ 以上になる。光増幅中継器の出力光パワーが十分小さい場合には、非線形効果を考慮せずに波長分散許容量を求めることができ、その値は比較的大きいので余り問題はない。

【0014】しかし、光増幅中継器の出力光パワーが大きい場合には、非線形効果の影響を受けて波長分散許容量が小さくなり、上記論文に記載されているような受信側での波長分散補償（後置補償）に限界がある。

【0015】波長分散の後置補償のみを行った場合の伝送特性の波長依存性を図21に示す。ここでは、後置補償量を最適化したアイ開口劣化の最小値を示す。基準波長1558nmより短波長側及び長波長側で大きなアイ開口劣化が発生している。ただし、光増幅器出力は $+4\text{dBm}$ を仮定している。

【0016】長距離波長多重光増幅中継伝送システムでは、伝送路の波長分散を分割補償してもチャンネルごとに信号光波長が異なるために、波長分散のスロープ（2次分散）の影響によりチャンネルごとの波長分散量が伝送中に大きくずれてしまう。上述した論文では、受信側で各チャンネルごとに最適な波長分散量を与えて波長分散を補償（後置補償）しているが、上述したようにその改善量には限界がある。

【0017】故に本発明の目的は、改善された波長分散補償を行うことにより信号光の波形歪みを緩和することのできる波長多重光伝送システムを提供することである。本発明の他の目的は、送信側でチャンネルごとに所定の波長分散を与えることにより、信号光の波形歪みを緩和することのできる光送信装置を提供することである。

【0018】本発明のさらに他の目的は、送信側でチャンネルごとに所定の周波数シフトを与えることにより、信号光の波形歪みを緩和することのできる光送信装置を提供することである。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明によると、伝送路を介して波長の異なる複数の信号光を伝送する波長多重光伝送システムに使用する光送信装置であって、それぞれ電気信号を波長の異なる複数の前記信号光に変換する複数の電気-光変換手段と；それぞれ前記複数の電気-光変換手段に接続され、各信号光にある波長分散を与える複数の前置波長分散手段と；前記複数の前置波長分散手段に接続され、前記複数の信号光を合波する光合波器

とを具備し、前記各前置波長分散手段は各信号光の波長と前記伝送路での波長分散が零となる特定波長との間の波長ずれによって発生する前記伝送路での波長分散ずれを補償するように適合していることを特徴とする光送信装置が提供される。

【0020】好ましくは、各前置波長分散手段は光ファイバから構成される。信号光が前記特定波長よりも短い波長を有する場合には、正の波長分散を有する光ファイバを使用し、信号光が前記特定波長よりも長い波長を有する場合には、負の波長分散を有する光ファイバを使用する。

【0021】本発明の他の側面によると、伝送路を介して波長の異なる複数の信号光を伝送する波長多重光伝送システムに使用する光送信装置であって、それぞれ電気信号を波長の異なる複数の前記信号光に変換する複数の電気-光変換手段と；前記複数の電気-光変換手段に接続され、前記複数の信号光を合波する光合波器とを具備し；前記各電気-光変換手段は前記各信号光に強度変調をかけると同時に位相変調をかける変調手段を有していることを特徴とする光送信装置が提供される。

【0022】前記変調手段により各信号光に強度変調をかけると同時に位相変調をかけることにより、各信号光に所定の周波数シフト、即ちプリチャープを与える。これにより、波長多重光増幅中継伝送方式における波長分散補償を改善することができる。

【0023】例えば、各電気-光変換手段は連続光を発振する光源と、この光源から出力される連続光を電気信号に応じて変調する強度変調器とから構成される。この強度変調器で連続光を強度変調すると同時に位相変調して、信号光に所定の周波数シフトを発生させる。

【0024】代案として、各電気-光変換手段は連続光を発振する光源と、電気信号に応じてその光源を直接変調する変調器とから構成される。この変調器により連続光を強度変調すると同時に位相変調して、信号光に所定の周波数シフトを発生させる。

【0025】本発明のさらに他の側面によると、波長多重光伝送システムであって、それぞれ電気信号を波長の異なる複数の信号光に変換する複数の電気-光変換手段と；それぞれ前記複数の電気-光手段に接続され、各信号光にある波長分散を与える複数の前置波長分散手段と；前記複数の前置波長分散手段に接続され、前記複数の信号光を合波する光合波器と；一端が前記光合波器に接続された光伝送路と；前記光伝送路の他端に接続された、波長多重された前記複数の信号光を分波する光分波器と；それぞれ前記光分波器から出力される信号光が入力されるように適合しており、各信号光にある波長分散を与える複数の後置波長分散手段と；それぞれ前記後置波長分散手段から出力される信号光を電気信号に変換する複数の光-電気変換手段と；を具備したことを特徴とする波長多重光伝送システムが提供される。

【0026】

【実施の形態】図1を参照すると、本発明の第1実施形態ブロック図が示されている。本実施形態は、送信側においてチャネルごとに所定の波長分散を与える前置補償法である。

【0027】光送信装置2はそれぞれ電気信号を波長の異なる複数の信号光に変換する複数の電気-光変換器4₁, 4₂, ..., 4_nを含んでいる。各電気-光変換器4₁, 4₂, ..., 4_nの後段には、各電気-光変換器4₁, 4₂, ..., 4_nから出力される信号光にある波長分散を与える複数の前置波長分散器6₁, ..., 6_nが設けられている。

【0028】光合波器8が複数の前置波長分散器6₁, ..., 6_nに接続されており、各前置波長分散器6₁, ..., 6_nから出力される信号光を合波して、伝送路に送出する。

【0029】本実施形態の光送信装置2では、各前置波長分散器6₁, ..., 6_nは各信号光の波長と光伝送路での波長分散が零となる特定波長との間の波長ずれによって発生する伝送路での波長分散ずれを補償する。

【0030】8チャネルの場合のチャネルの配置例は、図2に示すように特定波長λ₀に対して両側に均等にチャネルを配置する。特定波長より短い波長のチャネルには、正の波長分散を有する波長分散補償ファイバを前置補償として用いる。一方、特定波長より長い波長のチャネルには、負の波長分散を有する波長分散補償ファイバを前置補償として用いる。

【0031】例えば、正の波長分散を有する波長分散補償ファイバとしては1.3 μm零分散ファイバを使用し、負の波長分散を有する波長分散補償ファイバとして1.5 μm零分散ファイバまたは特殊な分散補償ファイバを用いる。

【0032】本実施形態の光送信装置2で波長1556.0 nmの信号光を送信した場合の波長分散マップを図3に示す。前置波長分散器6により+640 ps/nmの波長分散を与えると、8,000 km伝送時には-640 ps/nmの補償残になる。これを図19に示した従来例と比較すると、補償残は半分に減少している。

【0033】波長1559.7 nmの信号光の波長分散マップを図4に示す。同様に前置波長分散器6に-550 ps/nmの波長分散を与えると、8,000 km伝送時には+550 ps/nmの補償残になる。これを図20に示した従来例と比較すると、補償残は半分に減少している。

【0034】図5を参照すると、本発明第2実施形態のブロック図が示されている。本実施形態は送信側においてチャネル毎に所定の周波数シフトを与えるプリチャープ法である。

【0035】光送信装置2Aはそれぞれ電気信号を波長の異なる複数の信号光に変換する複数の電気-光変換器

10₁, ..., 10_nと、これら複数の電気-光変換器10₁, ..., 10_nに接続され、これらの電気-光変換器10₁, ..., 10_nから出力される信号光を合波する光合波器8とを含んでいる。各電気-光変換器10₁, ..., 10_nは各信号光に強度変調をかけると同時に位相変調をかける変調手段12を有している。

【0036】変調手段12で信号光に強度変調をかけると同時に位相変調をかけることにより、信号光に所定の周波数シフトを与える。図6(A)、図6(B)及び図6(C)に電気-光変換器10の構成例を示す。

【0037】電気-光変換器10は図6(A)に示すように、連続光を発振する光源14と、光源14から出力される連続光を電気信号に応じて変調する強度変調器16とから構成される。

【0038】強度変調器16は、連続光に強度変調をかけると同時に位相変調をかけるように適合しており、例えばマッハツェンダ型光変調器から構成される。強度変調器16で連続光に強度変調をかけると同時に位相変調をかけることにより、信号光に所定の周波数シフトを発生させる。

【0039】図6(B)は他の電気-光変換器10の構成例を示しており、連続光を発振する光源14を含んでいる。電気信号に応じて光源14を直接変調して電気信号を光信号に変換する。光源14を電気信号に応じて直接変調するとき、強度変調をかけると同時に位相変調をかけることにより、信号光に所定の周波数シフトを発生させる。

【0040】図6(C)は更に他の電気-光変換器10の構成例を示している。電気-光変換器10は連続光を発振する光源14と、光源14を概略伝送速度相当の周波数で変調する周波数変調器18と、光源14から出力される連続光を電気信号に応じて変調する強度変調器16とから構成される。

【0041】本実施形態では、光源14を周波数変調器18で直接変調することにより、光源14から発振する連続光にプリチャープが与えられる。強度変調器16では主信号の変調のみが行われる。

【0042】図7(A)及び図7(B)を参照すると、強度変調器16として採用可能なマッハツェンダ型光変調器20A、20Bが示されている。図7(A)に示すマッハツェンダ型光変調器20Aは、リチウムナイオベート(LiNbO₃)等の基板22上に形成された導波路24と、該導波路24に接続された一対の分岐導波路26a、26bを有している。分岐導波路26a、26b上には形状の異なる一対の電極28、30が装荷されている。電極28は信号電極であり、電極30は接地電極である。

【0043】マッハツェンダ型光変調器20Aはこのように一対の非対称電極28、30を有するため、信号光に強度変調をかけると同時に位相変調をかけることがで

きる。

【0044】図7(B)に示すマッハツェンダ型光変調器20Bは、電極28'の形状が図7(A)に示した光変調器20Aと相違する。即ち、電極28'を導波路24部分まで延長することにより、位相変調部32を形成したものである。

【0045】本実施形態のマッハツェンダ型光変調器29Bは位相変調部32を具備しているため、図7(A)に示した光変調器20Aと比較して、信号光に積極的に位相変調をかけることができ、これにより大きな周波数シフト(プリチャープ)を発生させることができる。

【0046】図8を参照すると、信号光のプリチャープ量とアイ開口劣化の関係が示されている。ここでは、波長分散+200ps/nmの場合に伝送特性のプリチャープ量依存性を評価した。ただし、信号光には、高速偏波スクランブルをかけている。プリチャープ量 α が伝送速度の0.5倍~3.0倍の範囲内で伝送特性が改善されることが明らかとなった。

【0047】図8はプリチャープ α が3.0以上でもアイ開口劣化は小さいことを示しているが、信号光に3.0より大きなプリチャープを与えると、信号光のスペクトラムの拡大により波形が歪むため、望ましくない。

【0048】図9を参照すると、本発明第3実施形態のブロック図が示されている。本実施形態の光送信装置2Bは図1に示した前置補償法と、図5に示したプリチャープ法を組み合わせたものであり、より効果的である。

【0049】図10を参照すると、信号光波長1557nmの場合の波長分散量とアイ開口劣化の関係が示されている。破線がプリチャープなしで前置補償のみを行った場合であり、実線がプリチャープ量1.5と前置補償とを併用した場合である。

【0050】図10から明らかなように、伝送路の累積波長分散約-400ps/nmに対して、+200~400ps/nmの前置補償を与えると、伝送特性が改善される。即ち、伝送路の波長分散のずれ量の0.5倍以上の前置補償を行うことにより、伝送特性が大きく改善される。

【0051】図11を参照すると、本発明の第4実施形態ブロック図が示されている。本実施形態は光減衰器又は光増幅器でチャンネル毎の信号光のパワーを異なる値に設定するプリエンファンスを行ったものである。

【0052】即ち、各前置波長分散器6₁、...6_nと光合波器8との間に複数の光減衰器又は光増幅器34₁、...34_nが挿入されている。そして、伝送路中に挿入されている複数の光増幅器の利得の波長依存性によって発生する信号光パワーと雑音光パワーの比の劣化を抑圧するために、これらの光減衰器又は光増幅器34₁、...34_nにより、チャンネル毎の信号光のパワーを異なる値に設定する。

【0053】図12を参照すると、本発明の第5実施形

態ブロック図が示されている。本実施形態は各チャンネル毎に偏波スクランブラを挿入して、信号光の偏波状態の変更を実現したものである。

【0054】即ち、図12に示す光送信装置2Dでは、各前置波長分散器6₁、...6_nと光合波器8との間に複数の偏波スクランブラ36₁、...36_nが挿入されている。

【0055】偏波スクランブラ36₁、...36_nにより各信号光の偏波状態を変更して、伝送路中に挿入されている複数台の光増幅器の偏光依存性利得又は偏光依存性損失による信号光の劣化を抑圧する。

【0056】図13を参照すると、本発明の第6実施形態ブロック図が示されている。本実施形態は各チャンネル毎に偏波スクランブラ36₁、...36_n及び光増幅器34₁、...34_nが挿入されている。この構成により、各信号光のプリエンファンスを行うと共に、信号光の偏光状態を変更する。

【0057】光増幅器34₁、...34_nを偏波スクランブラ36₁、...36_nの上段に配置するようにしてもよい。又、光増幅器に換えて光減衰器を挿入するようにしてもよい。

【0058】図14を参照すると、本発明の第7実施形態ブロック図が示されている。本実施形態は、図1に示した光送信装置2を使用して波長多重光伝送システムを構成したものである。

【0059】図示するように、光送信装置2と光受信装置40がシングルモード光ファイバから構成された伝送路38により接続されている。光分波器42は伝送路38を介して伝送されてきた波長多重信号光を各チャンネル毎の信号光に分波する。

【0060】各信号光は後置波長分散器44₁、...44_nによりある波長分散が与えられ、次いで光-電気変換器46₁、...46_nにより電気信号に変換される。本実施形態によると、各信号光の波長と伝送路38での波長分散が零となる特定波長との間の波長ずれによって発生する伝送路38での波長分散ずれを前置波長分散器6₁、...6_nと後置波長分散器44₁、...44_nを用いて補償する。

【0061】図15を参照すると、本発明の第8実施形態ブロック図が示されている。本実施形態は図14に示した第7実施形態の伝送路38に複数台の光増幅器48₁、...48_nを挿入したものである。

【0062】光送信装置2に換えて図11に示した光送信装置2Cを使用すると、各信号光のプリエンファンスを実現できる。即ち、伝送路38に挿入した光増幅器48₁、...48_nの利得の波長依存性によって発生する信号光パワーと雑音光パワーの比の劣化を抑圧するために、光減衰器又は光増幅器34₁、...34_nにより、チャンネル毎の信号光のパワーを異なる値に設定する。

【0063】このように信号光のプリエンファンスを行った場合のチャネル配置例が図16に示されている。曲線50は光増幅器48₁, . . . 48_nの利得波長特性である。

【0064】光増幅器48₁, . . . 48_nの利得 $G(\lambda)$ が $\lambda_j < \lambda_k$ の場合には、図16に示すように $G(\lambda_j) \leq G(\lambda_k)$ を満足する波長帯域に信号光波長を配置するのが望ましい。

【0065】図17を参照すると、本発明の第9実施形態ブロック図が示されている。本実施形態は図15に示した実施形態の伝送路38中に複数のインライン波長分散器52₁, . . . 52_nを挿入したものである。

【0066】インライン波長分散器52₁, . . . 52_nにより伝送路38の波長分散を一括して補償する。しかし、インライン波長分散器52₁, . . . 52_nではチャネル毎の波長分散ずれは補償できない。

【0067】

【発明の効果】本発明によると、送信側で信号光の波長分散補償又はプリチャープを行うことにより、従来実施されていた受信側で各チャネル毎に最適な波長分散量を与える、所謂後置補償の限界を改善することができる。

【0068】送信側で行う前置補償と受信側で行う後置補償とを組み合わせることによって、信号光の波形歪みを緩和することができ、伝送特性を大きく改善することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態構成図である。

【図2】第1実施形態のチャネル配置例である。

【図3】第1実施形態による波長1556nmの信号光の波長分散量を示す図である。

【図4】第1実施形態による波長1559.7nmの信号光の波長分散量を示す図である。

【図5】本発明の第2実施形態構成図である。

【図6】電気-光変換器の構成例を示す図である。

【図7】強度変調器の構成例を示す図である。

【図8】プリチャープ量とアイ開口劣化の関係を示す図である。

【図9】本発明の第3実施形態構成図である。

【図10】波長分散量とアイ開口劣化の関係を示す図である。

【図11】本発明の第4実施形態構成図である。

【図12】本発明の第5実施形態構成図である。

【図13】本発明の第6実施形態構成図である。

【図14】本発明の第7実施形態構成図である。

【図15】本発明の第8実施形態構成図である。

【図16】第8実施形態のチャネル配置例を示す図である。

【図17】本発明の第9実施形態構成図である。

【図18】従来例による波長1558nmの信号光の波長分散量を示す図である。

【図19】従来例による波長1556nmの信号光の波長分散量を示す図である。

【図20】従来例による波長1559.7nmの信号光の波長分散量を示す図である。

【図21】後置波長分散補償のみを行った場合の伝送特性の波長依存性を示す図である。

【符号の説明】

4 電気-光変換器

6 前置波長分散器

8 光合波器

10 電気-光変換器

20A, 20B マツハツェンダ型光変調器

34 光減衰器/増幅器

36 偏波スクランブラ

38 伝送路

42 光分波器

44 後置波長分散器

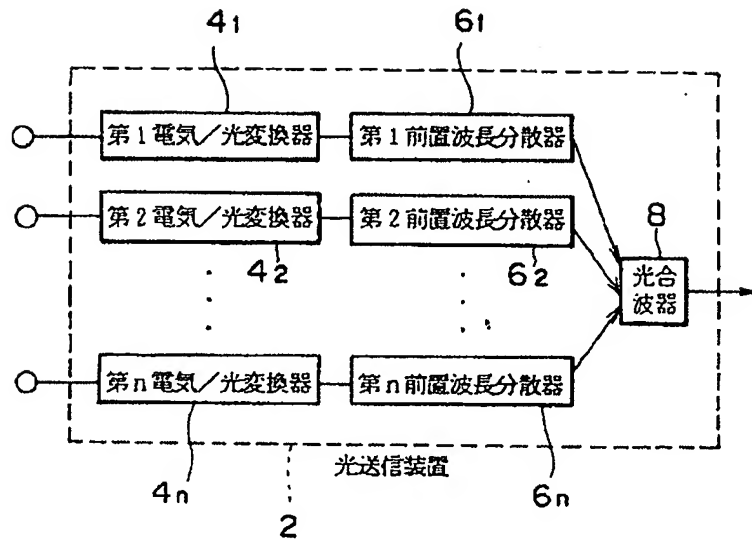
46 光-電気変換器

48 光増幅器

52 インライン波長分散器

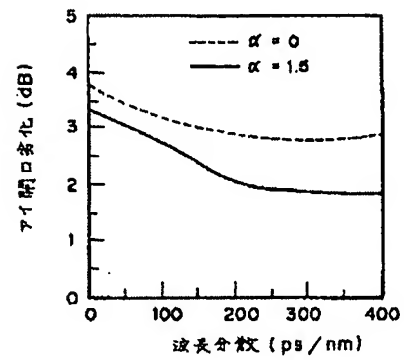
【図1】

第1実施形態構成図



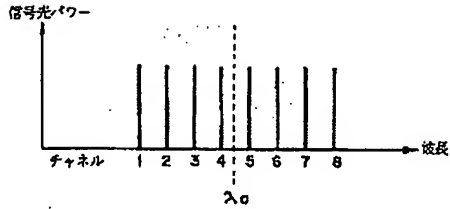
【図10】

波長分散量とアイ開口劣化の関係を示す図



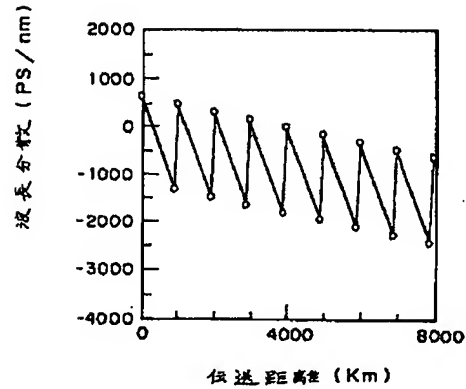
【図2】

チャネル配置例



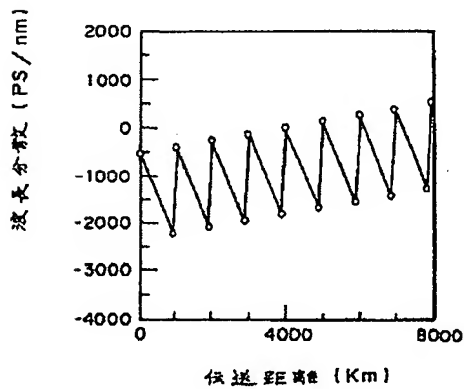
【図3】

波長 1556 nm の信号光の波長分散



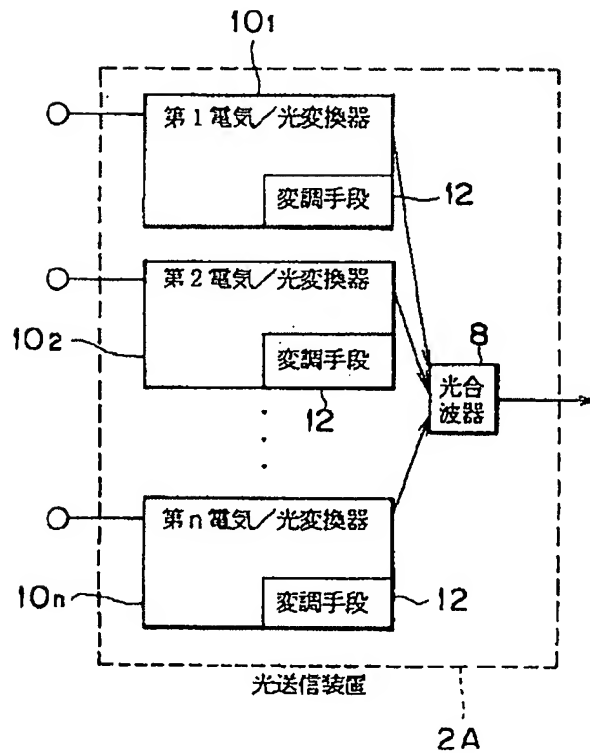
【図4】

波長 1559.7 nm の信号光の波長分散



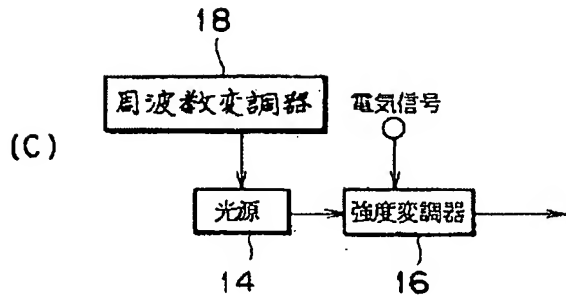
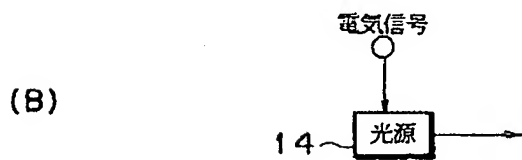
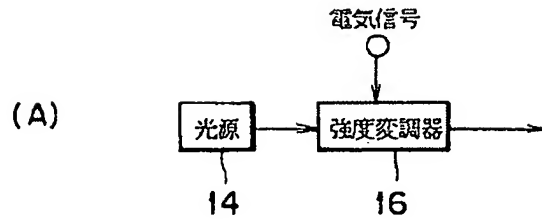
【図5】

第2実施形態構成図



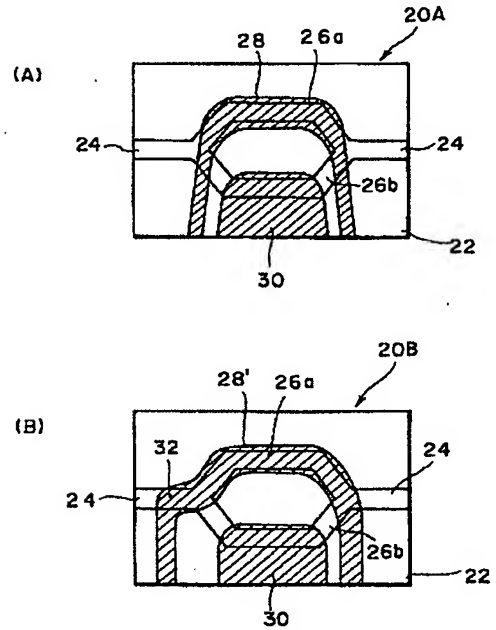
【図6】

電気-光変換器の構成例



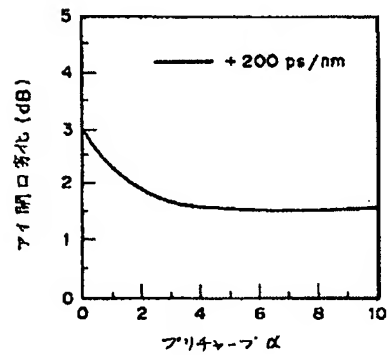
【図7】

強度変調器の構成例



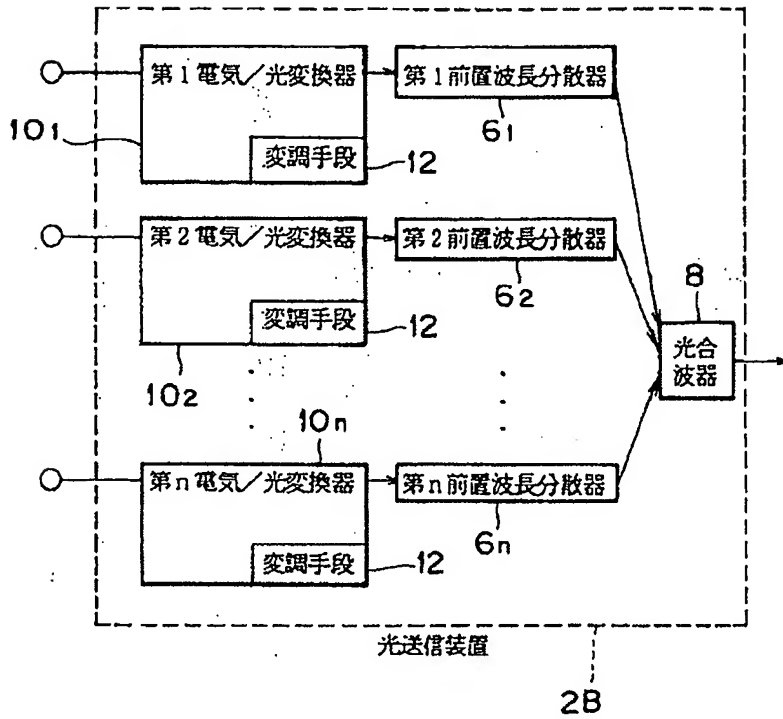
【図8】

プリチャーフ量とアイ開口劣化の関係を示す図



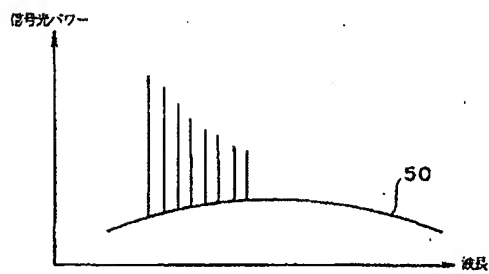
【図9】

第3実施形態構成図



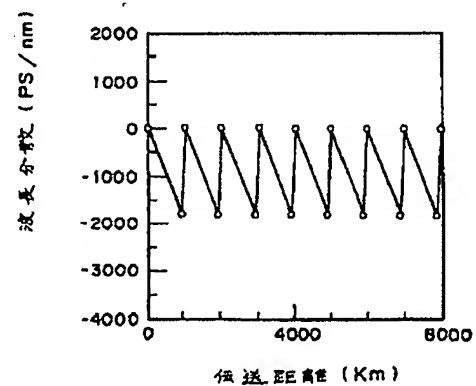
【図16】

チャンネル配置例



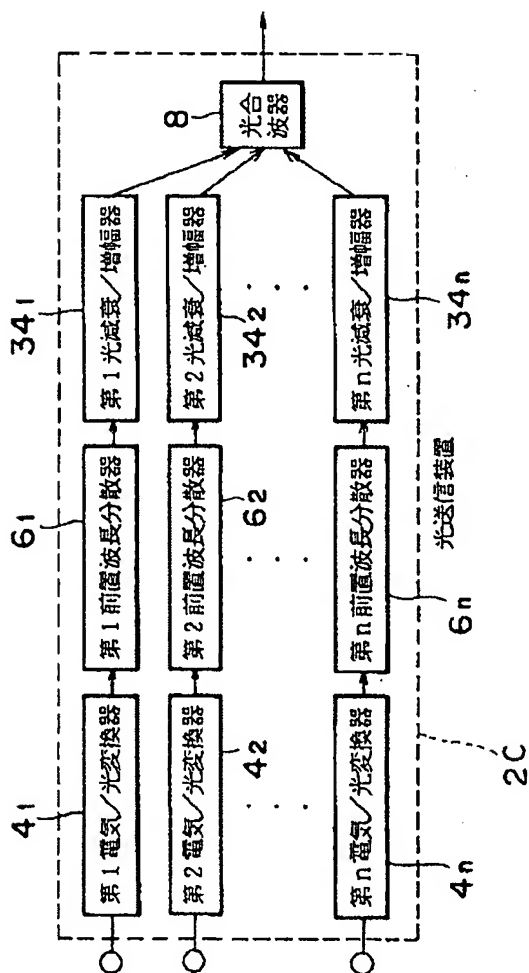
【図18】

波長155nmの信号光の波長分散



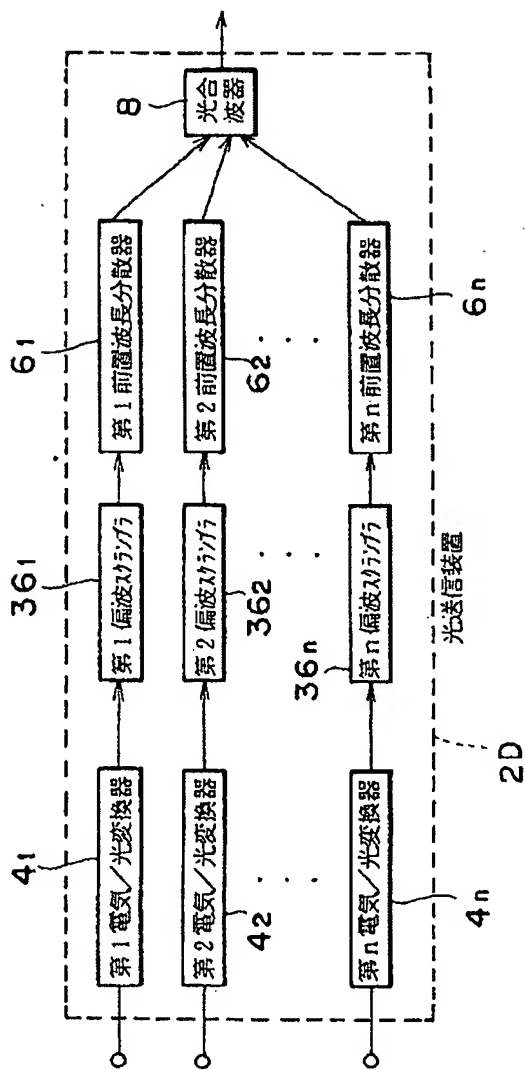
【図11】

第4実施形態構成図



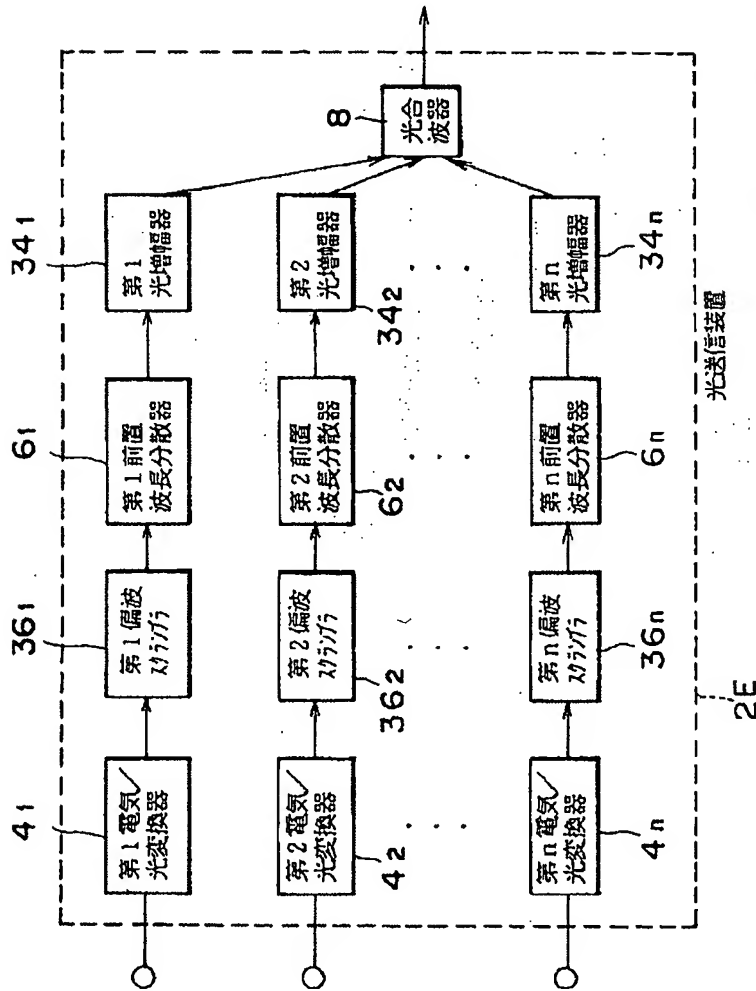
【図12】

第5実施形態構成図



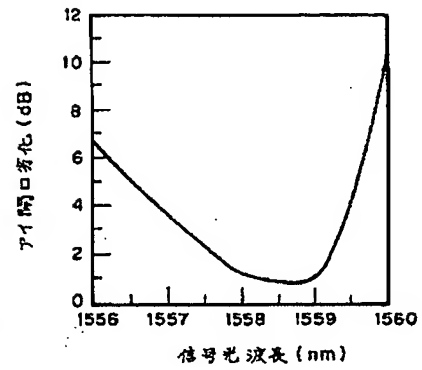
【図13】

第6実施形態構成図



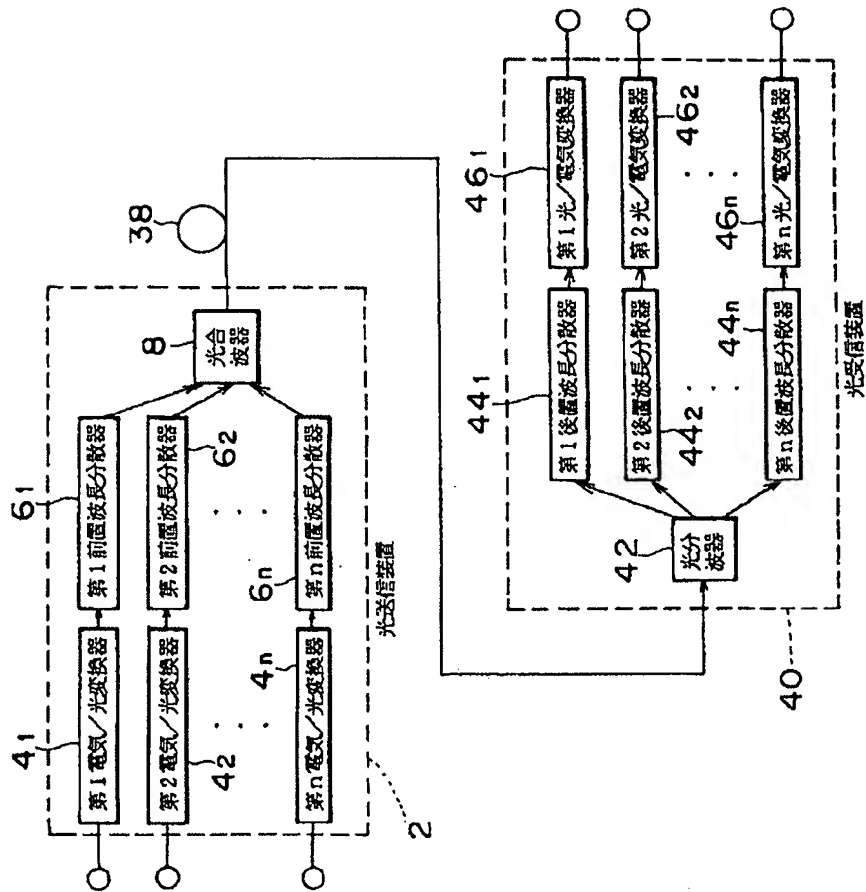
【図21】

後置波長分散補償のみを行った場合の
伝送特性の波長依存性



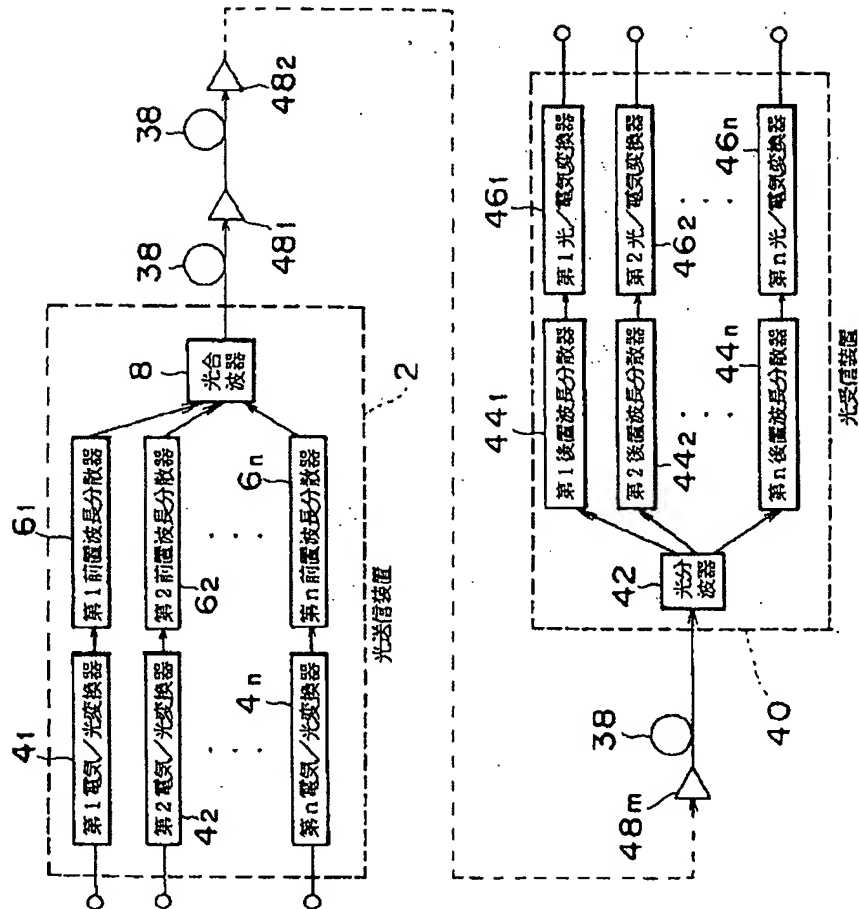
【図14】

第7実施形態構成図



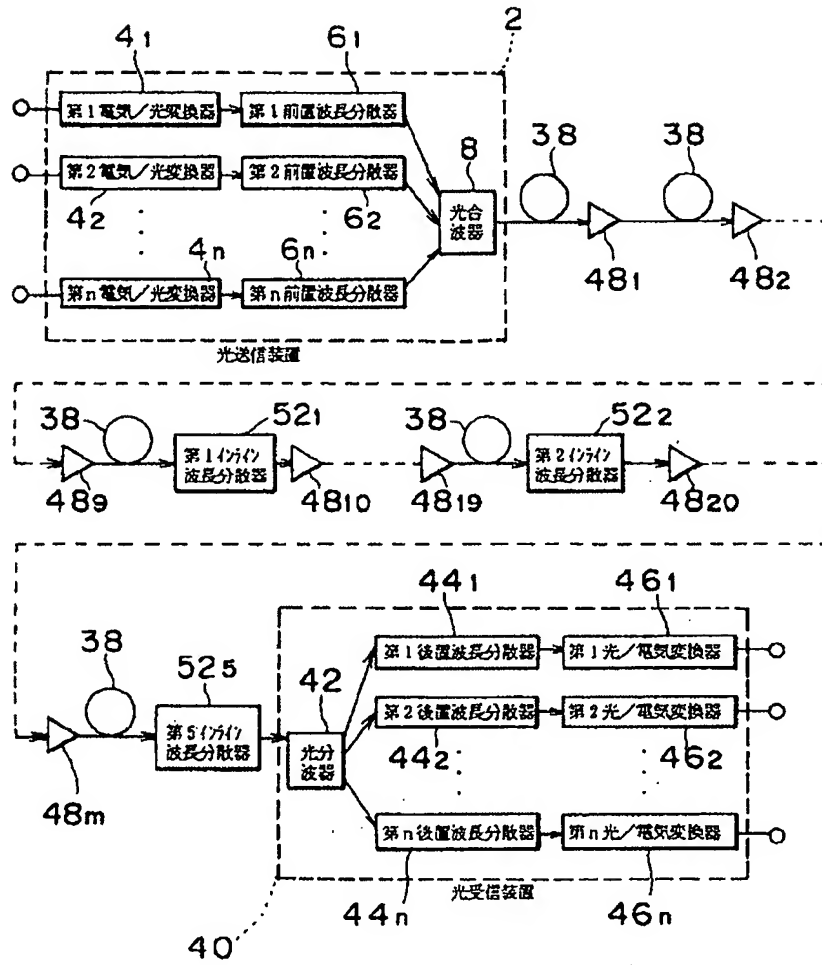
【圖15】

第8實施形態構成圖



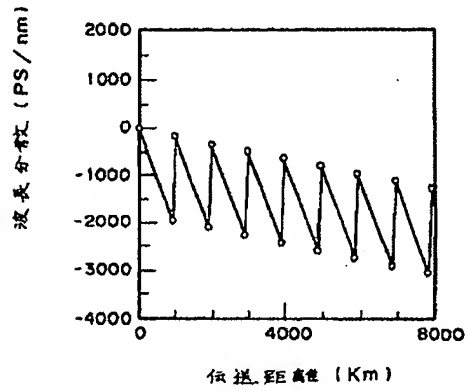
【図17】

第9実施形態構成図



【図19】

波長 1556nm の信号光の波長分散



【図20】

波長 1559.7nm の信号光の波長分散

